

Docket No.: 50395-247

PATENT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of : Customer Number: 20277  
Tatsuhiko SAITO, et al. : Confirmation Number:  
Serial No.: : Group Art Unit:  
Filed: January 27, 2004 : Examiner: Unknown  
For: METHOD OF PRODUCING OPTICAL FIBER

**CLAIM OF PRIORITY AND**  
**TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

**Japanese Patent Application No. 2003-034252, filed February 12, 2003**

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

  
Arthur J. Steiner  
Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:tlb  
Facsimile: (202) 756-8087  
Date: January 27, 2004

50395-247  
SAITO et al.  
January 20, 2004

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

*McDermott, Will & Emery*

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日      2003年 2月12日  
Date of Application:

出願番号      特願2003-034252  
Application Number:

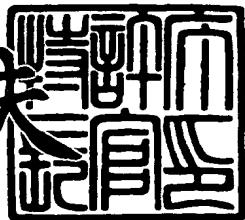
[ST. 10/C] :      [JP2003-034252]

出願人      住友電気工業株式会社  
Applicant(s):

2003年 8月29日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



( )

**【書類名】** 特許願**【整理番号】** 102Y0685**【提出日】** 平成15年 2月12日**【あて先】** 特許庁長官殿**【国際特許分類】** G02B 6/00356

G02B 6/20

**【発明者】****【住所又は居所】** 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内**【氏名】** 斎藤 達彦**【発明者】****【住所又は居所】** 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内**【氏名】** 石川 真二**【特許出願人】****【識別番号】** 000002130**【氏名又は名称】** 住友電気工業株式会社**【代理人】****【識別番号】** 100088155**【弁理士】****【氏名又は名称】** 長谷川 芳樹**【選任した代理人】****【識別番号】** 100089978**【弁理士】****【氏名又は名称】** 塩田 辰也**【選任した代理人】****【識別番号】** 100092657**【弁理士】****【氏名又は名称】** 寺崎 史朗

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 軸方向に延びる空孔を有する光ファイバを製造する方法であつて、

前記空孔となるべき貫通孔を有する光ファイバ母材を用意する第1の工程と、  
前記光ファイバ母材を線引炉で線引きすることにより前記空孔を有する光ファイバを形成する第2の工程と、

前記線引炉の後段に設けられた加熱炉によって、前記第2の工程で形成された光ファイバを温度900℃～1300℃の範囲に加熱する第3の工程と  
を備えることを特徴とする光ファイバ製造方法。

【請求項 2】 前記第3の工程において、前記光ファイバを温度900℃～1300℃の範囲に0.1秒以上加熱することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ製造方法。

【請求項 3】 前記第3の工程において、温度900℃～1300℃の範囲であつて、前記線引炉と前記加熱炉との間における前記光ファイバの最低の温度より高い温度で、該光ファイバを加熱することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の光ファイバ製造方法。

【請求項 4】 前記加熱炉を前記線引炉から離して配置し、前記加熱炉と前記線引炉との間で前記光ファイバを空冷することを特徴とする請求項3に記載の光ファイバ製造方法。

【請求項 5】 前記線引炉内の雰囲気ガスにヘリウムガスが含まれていることを特徴とする請求項1～請求項4の何れか1項に記載の光ファイバ製造方法。

【請求項 6】 前記加熱炉内の雰囲気ガスに窒素ガスが含まれていることを特徴とする請求項1～請求項5の何れか1項に記載の光ファイバ製造方法。

【請求項 7】 前記貫通孔の内部に酸素ガスが存在することを特徴とする請求項1～請求項6の何れか1項に記載の光ファイバ製造方法。

【請求項 8】 前記第2の工程において、前記光ファイバ母材を前記線引炉により1950℃以下の温度で加熱して線引きすることを特徴とする請求項1～

請求項 7 の何れか 1 項に記載の光ファイバ製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、軸方向に延びる空孔を有する光ファイバを製造する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

軸方向に延びる空孔を有する光ファイバには、ホーリーファイバやフォトニック結晶ファイバと呼ばれるものがある。以下、このような軸方向に延びる空孔を有する光ファイバを微細構造光ファイバと称す。この微細構造光ファイバは、軸に直交する断面における空孔の大きさや空孔の分布を調整することでコア領域とクラッド領域との平均屈折率差を調整することができるので、空孔を有さない光ファイバよりも優れた特性を得ることが可能である。例えば、微細構造光ファイバは、空孔を有さない光ファイバよりも絶対値の大きな波長分散や大きな非線形性を得ることができることから、分散補償や非線形ファイバへの応用が期待されている。

【0003】

ただし、微細構造光ファイバの伝送損失は、空孔を有さない光ファイバに比べて大きかった。

【0004】

そのため、微細構造光ファイバの伝送損失を低減することが検討されている。そして、微細構造光ファイバにおいて、導波光のエネルギーのうち空孔に存在するエネルギーの割合が少ない場合には伝送損失が小さいことが知られている。このような伝送損失の小さい微細構造光ファイバの 1 つとして、コア領域及びそれを順次包囲する 3 層構造のクラッド領域から構成され、そのクラッド領域において、コア領域に対して最も外側の層に空孔が設けられているものがある（例えば、特許文献 1 参照）。この場合、コア領域と空孔が設けられている層との間に 2 つの層があることから、導波光のエネルギーのうち空孔に存在するエネルギーの割合が少

なくなっていた。

### 【0005】

#### 【特許文献1】

特開2002-31737号公報

### 【0006】

#### 【発明が解決しようとする課題】

上記従来の技術では導波光のエネルギーのうち空孔に存在するエネルギーの割合が少ない場合に伝送損失が小さくなることが示されていた。

### 【0007】

ただし、微細構造光ファイバにおける伝送損失の増加の原因が検討されていない。そのため、伝送損失を低減するために、微細構造光ファイバにおいて、クラッド領域を3層構造とし、その3層のうちコア領域から最も離れた層に空孔を配置するという構成をとらざるをえない。微細構造光ファイバの特性は、軸に直交する断面における空孔の配置に依存するので、その配置の仕方が制限されると、微細構造光ファイバで実現すべき波長分散特性などを十分に実現できない恐れがあった。

### 【0008】

本発明は、上記問題点を解消するためになされたものであり、軸方向に延びる空孔を有し伝送損失が低減された光ファイバを製造することができる方法を提供することを目的とする。

### 【0009】

#### 【課題を解決するための手段】

上記問題点を解決するために、本発明者らは、軸方向に延びる空孔を有する光ファイバ、いわゆる微細構造光ファイバの伝送損失の低減に関して鋭意研究を重ねた。

### 【0010】

まず、本発明者らは、微細構造光ファイバにおいて、軸と直交する断面における空孔の大きさや分布を変化させることで導波光のエネルギーのうち空孔に存在するエネルギーの割合と伝送損失との関係を調べた。その結果、空孔に存在するエネ

ルギの割合が増大するにつれて伝送損失が大きくなることを見出した。

#### 【0011】

ところで、空孔の内部は空気であることから伝送損失の原因にはならない。そのため、伝送損失は空孔の界面に起因するものである。

#### 【0012】

本発明者らは、上述したような空孔の界面による伝送損失の原因としてレイリー散乱に着目した。そして、微細構造光ファイバにおける伝送損失の波長依存性を調べることで伝送損失がレイリー散乱に起因することを確信するに至った。本発明者らは、微細構造光ファイバにおいてレイリー散乱の影響が増大することに關して更に検討を進めて以下のような知見を得た。

#### 【0013】

微細構造光ファイバは、その空孔となるべき貫通孔を有する光ファイバ母材を線引炉で線引して製造される。

#### 【0014】

通常、光ファイバ母材の主成分はシリカガラスであって、光ファイバ母材はSiとOとが網目構造に配列されて形成されている。このような光ファイバ母材を線引炉で加熱・溶融すると、貫通孔内にSiOガスが発生する。

#### 【0015】

貫通孔内に発生したSiOガスは、微細構造光ファイバが線引炉から引き出されて冷却されると空孔の界面に付着する。ただし、線引炉から引き出された微細構造光ファイバの冷却速度は5000°C/秒以上であるので、SiOはSiとOとの安定な結合状態となる前に凍結される。即ち、微細構造光ファイバの空孔の界面は、SiOが不安定に付着した状態となっている。

#### 【0016】

このようにSiOが不安定な状態で空孔の界面に付着している微細構造光ファイバでは、SiOが不安定に付着している箇所、即ち空孔の界面の原子配列が乱れている部分では、誘電率の揺らぎが大きくなるのでレイリー散乱が大きくなる。そのため、微細構造光ファイバにおいて伝送損失が大きくなる。

#### 【0017】

従って、上記課題を解決するために、本発明に係る光ファイバ製造方法は、軸方向に延びる空孔を有する光ファイバを製造する方法であって、空孔となるべき貫通孔を有する光ファイバ母材を用意する第1の工程と、光ファイバ母材を線引炉で線引きすることにより空孔を有する光ファイバを形成する第2の工程と、線引炉の後段に設けられた加熱炉によって、第2の工程で形成された光ファイバを温度900°C～1300°Cの範囲に加熱する第3の工程とを備えることを特徴とする。

#### 【0018】

上記光ファイバを製造する方法では、光ファイバ母材を線引炉で線引きして形成された光ファイバを加熱炉で温度900°C～1300°Cの範囲に加熱する。SiO<sub>2</sub>が軟化するいわゆる軟化点は約900°C程度である。ガラスが軟化するという現象は、原子レベルで見た場合、SiとOとの再結合が起こっているということである。上述した空孔界面の不安定なSi-Oの結合を、軟化点以上の温度に保持することにより、不安定な結合は、よりエネルギーの低い安定な結合へと再結合を行う。その結果、空孔界面の原子配列の乱れが低減され、誘電率の揺らぎが減少することでレイリー散乱も低減される。

#### 【0019】

また、1300°Cより高温で光ファイバを加熱すると光ファイバの空孔が変形したりつぶれたりしやすくなるが、上記の製造方法では、1300°C以下の温度で加熱しているので、光ファイバの空孔が変形したりつぶれたりすることを抑制することができる。

#### 【0020】

従って、軸に直交する断面における空孔の幾何学的形状を維持しつつレイリー散乱が低減された光ファイバを製造することが可能である。

#### 【0021】

なお、空孔が変形したりつぶれたりすることを抑制する観点から、加熱炉で光ファイバを温度900°C～1100°Cの範囲に加熱することは有効である。

#### 【0022】

また、上記本発明の光ファイバ製造方法の第3の工程においては、光ファイバ

を温度900℃～1300℃の範囲に0.1秒以上加熱することが好適である。

#### 【0023】

加熱炉での光ファイバの加熱時間が0.1秒よりも短い場合には、空孔の界面に不安定に付着したSiOが安定な結合状態を形成する前に凍結されてしまう恐れがある。上述したように加熱炉で光ファイバを0.1秒以上加熱することで光ファイバの空孔の界面に付着しているSiOをより確実に安定な結合状態とすることができます。

#### 【0024】

更に、本発明の光ファイバ製造方法の第3の工程においては、温度900℃～1300℃の範囲であって、線引炉と加熱炉との間における光ファイバの最低の温度より高い温度で、該光ファイバを加熱することが望ましい。

#### 【0025】

この場合には、線引炉と加熱炉との間で温度900℃～1300℃の範囲又はそれより低い温度に冷えた光ファイバが加熱炉で再加熱される。

#### 【0026】

本発明ではSiOガスが空孔内面に付着した後に温度を900℃～1300℃に保持することでSi-Oの再結合を促し、レイリー散乱を低減している。従って、加熱炉通過時にSiOガスとして空孔内の空間に存在する原子に対しては効果を有しない。これは、空孔内の空間に存在するSiOガスは加熱炉通過後に空孔内面に不安定な結合状態で付着するためである。そのため、線引炉直下でファイバ温度が高い状態のままで加熱炉に光ファイバを入線させると、その時点で空孔内にSiOガスの状態にある原子数が多いため効果が小さくなる。一方、加熱炉に入る前の光ファイバ温度を加熱炉温度より下げることによりSiOガスとして存在する確率は小さくなるので、より多くの効果を得ることができる。

#### 【0027】

従って、上記のように光ファイバを再加熱することで加熱炉を通過した光ファイバにおける空孔の界面のSiとOとの結合を安定な結合状態とすることが可能である。

#### 【0028】

なお、加熱炉を線引炉から離して配置し、加熱炉と線引炉との間で光ファイバを空冷することは、SiOを空孔の界面に一度付着させる観点から好適である。

### 【0029】

また、本発明の光ファイバ製造方法においては、線引炉内の雰囲気ガスにヘリウムガスが含まれていることが好適である。

### 【0030】

ヘリウムガスは不活性ガスであることから雰囲気ガスに用いても光ファイバと化学反応を起こすことがない。また、ヘリウムガスは、熱伝導率が高いので雰囲気ガスにヘリウムガスが含まれていることで、ヒータから出た後の光ファイバを効率的に冷却することができる。

### 【0031】

更に、本発明の光ファイバ製造方法においては、加熱炉内の雰囲気ガスに窒素ガスが含まれていることが好適である。

### 【0032】

窒素ガスは不活性ガスであることから雰囲気ガスに用いても光ファイバと化学反応を起こすことがない一方、熱伝導率は小さいことから光ファイバが冷えにくくないので加熱炉通過後も高温に保持される時間が延び、Si-Oの再結合を促進することから、SiとOとをより安定な結合状態にすることができる。

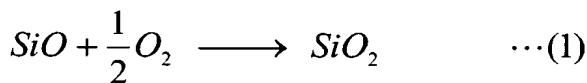
### 【0033】

更にまた、本発明の光ファイバ製造方法においては、貫通孔の内部に酸素ガスが存在することが好適である。

### 【0034】

貫通孔の内部に酸素ガスが存在することで（1）式の平衡は右辺へシフトし、光ファイバ母材を線引炉で加熱した際に貫通孔の内部にSiOガスが発生することを抑制することができる。

### 【数1】



### 【0035】

また、本発明の光ファイバ製造方法での第2の工程において、光ファイバ母材を線引炉により1950℃以下の温度で加熱して線引きすることが好適である。

### 【0036】

上述したように光ファイバ母材を線引きするためには加熱すると貫通孔内にSiOガスが発生するが、1950℃以下の温度で加熱することでSiOガスの発生を抑制することができる。そのため、光ファイバ母材を線引して形成した光ファイバにおける空孔の界面にSiOが付着する割合が小さくなる。

### 【0037】

#### 【発明の実施の形態】

以下に、図面と共に本発明の好適な実施形態について説明する。なお、以下の説明においては、同一の要素には同一の符号を用いることとし、重複する説明は省略する。また、図中の寸法比率は、説明のものとは必ずしも一致していない。

### 【0038】

図1は、本実施形態におけるファイバ軸方向に延びる空孔を有した光ファイバである微細構造光ファイバの概略構成図である。微細構造光ファイバ10は、そのファイバ軸に沿って延びるコア領域11と、そのコア領域11の外周を取り囲むクラッド領域12とを備える。

### 【0039】

クラッド領域12には、コア領域11の周囲にファイバ軸方向に延びる複数の空孔13が形成されている。図1において空孔13は、ファイバ軸に直交する断面においてコア領域11の周囲に六方格子状に配置されているが、空孔13の配置はこの配置に限定されず、任意の配置が可能である。なお、コア領域11は中空の空孔になる場合もある。

### 【0040】

上記構成の微細構造光ファイバ10では、クラッド領域12が空孔13を有しているので、クラッド領域12の平均屈折率は、空孔13を有さない場合よりも小さくなっている。そのため、コア領域11とクラッド領域12との屈折率差は、クラッド領域12に空孔が形成されていない場合に比べて大きくなっている。

#### 【0041】

次に、上記微細構造光ファイバ10を製造する方法について説明する。

#### 【0042】

まず、光ファイバ母材20を用意する。図2に本実施形態の光ファイバ母材20を、そのファイバ軸に直交する平面で切断した断面図を示す。光ファイバ母材20は、図2に示すように、コア領域11となるべき第1領域21、及び、クラッド領域12となるべき第2領域22を備えている。ここで、第1領域21と第2領域22とは同一の組成としても良い。また、第2領域22には空孔13となるべき貫通孔23が形成されている。貫通孔23は、図2に示すようにファイバ軸に直交する断面において第1領域21の周囲に六方格子状に配置されている。この光ファイバ母材20は、まず、VAD法、MCVD法又はOVD法などを用いて、第1領域21及び第2領域22を形成し、次にその第2領域22に貫通孔23を形成することで作製される。貫通孔23は例えば穿孔器具を用いて形成すれば良い。

#### 【0043】

次に、上記光ファイバ母材20を線引きする。ここで、光ファイバ母材20の線引きに適した線引装置30の一実施形態の構成を説明する。図3は線引装置30の模式図である。線引装置30は、線引炉31と、加熱炉32とを備える。

#### 【0044】

線引炉31は、円筒状の炉心管31aと、ヒータ31bとを有する。また、線引炉31の上方には母材供給装置（不図示）が設けられており、これにより、光ファイバ母材20が炉心管31a内に保持される。ヒータ31bは、線引炉31の下端に位置し、炉心管31aの外側でその外周を取り囲むように配置されている。

#### 【0045】

加熱炉32は、光ファイバ母材20を線引きする方向において、線引炉31の下流であって線引炉31から離して配置されている。加熱炉32は、円筒状の炉心管32aと、ヒータ32bとを有する。ヒータ32bは、炉心管32aの外側に、その外周を取り囲むように配置されている。

### 【0046】

上記線引装置30を用いた光ファイバ母材20の線引き方法について説明する。

### 【0047】

母材供給装置に光ファイバ母材20を取り付けて、光ファイバ母材20を線引炉31の炉心管31a内に保持する。ここで、ヒータ31bを作動させて炉心管31aを加熱する。このように炉心管31aを加熱することで光ファイバ母材20の一端を加熱・溶融し線引きして微細構造光ファイバ10を得る。ヒータ31bの温度は、光ファイバ母材20を溶融することが可能な温度以上であれば良いが、約1950°C以下の温度が好適である。光ファイバ母材20が加熱されて溶融すると、光ファイバ母材20を形成しているシリカガラスのSiとOとの結合が切れて貫通孔23内にSiOガスが発生するが、加熱温度を約1950°C以下とすることでSiOガスの発生を抑制することができるからである。

### 【0048】

上記線引きの際には、ヒータ31bから出た後の微細構造光ファイバ10を効率的に冷却するために炉心管31a内に雰囲気ガスとして熱伝導率の大きな不活性ガスを供給する。不活性ガスとしては、例えば、ヘリウムガスが熱伝導率の大きさの観点から好適である。なお、不活性ガスは炉心管31aに不活性ガス供給源を接続して供給すれば良い。

### 【0049】

また、光ファイバ母材20の貫通孔23の内部に酸素ガスを充填するなどによって酸素ガスを存在させることが好ましい。上述したように線引きの際には、貫通孔23内にSiOガスが発生するが、酸素ガスが存在することで（1）式の平衡は右辺にシフトし、SiOガスの発生を抑制することができるからである。

### 【0050】

次に、光ファイバ母材20を線引炉31で線引きして形成された微細構造光ファイバ10を炉心管31aの下部から線引炉31の下方へと引き出し、線引炉31と加熱炉32との間で空冷する。

### 【0051】

続いて、空冷された微細構造光ファイバ10を加熱炉32に送る。ここで、ヒータ32bを作動させて炉心管32aを加熱することで微細構造光ファイバ10を加熱する。微細構造光ファイバ10を加熱する温度は、上記空冷により空孔13の界面に付着したSiOの再結合が促進される温度とすれば良い。ただし、温度900℃～1300℃の範囲であって、線引炉31と加熱炉32との間での微細構造光ファイバ10の最低の温度より高い温度で微細構造光ファイバ10を加熱することが好適である。SiO<sub>2</sub>が軟化する温度が約900℃程度である一方、1300℃より高いと空孔13がつぶれたり変形したりするからである。なお、空孔13がつぶれることや変形したりすることを抑制する観点から微細構造光ファイバ10を温度900℃～1100℃の範囲に加熱することが更に好ましい。

#### 【0052】

加熱炉32での微細構造光ファイバ10の加熱時間は、0.1秒以上であることが好適である。加熱時間が0.1秒よりも短いと、不安定なSi-O結合が再結合により安定な結合に移動する前に結合状態が凍結されてしまう恐れがあるからである。

#### 【0053】

また、加熱炉32で微細構造光ファイバ10を加熱する際には、微細構造光ファイバ10が直ぐに冷えないように炉心管32a内に雰囲気ガスとして熱伝導率の低い不活性ガスを供給する。不活性ガスとしては、熱伝導率の低さの観点から窒素ガスが好適である。

#### 【0054】

次に、上述した本実施形態における微細構造光ファイバ10を製造する方法が奏する作用・効果について説明する。

#### 【0055】

本実施形態における微細構造光ファイバ10を製造する方法では、図2に示す光ファイバ母材20を線引きして、ファイバ軸方向に延びる空孔13を有する微細構造光ファイバ10を形成し、その微細構造光ファイバ10を線引炉31と加熱炉32との間で一度空冷して更に加熱炉32で再加熱する。

### 【0056】

ところで、上述したように光ファイバ母材20を線引きする際には貫通孔23の内部にSiOガスが発生する。このSiOガスは、微細構造光ファイバ10が空冷されると空孔13の界面に付着する。ただし、通常、空冷により微細構造光ファイバ10は急冷されるので、SiOガスは空孔13の界面でSiとOとの安定な結合状態を形成する前に凍結され、不安定な状態で空孔13の界面に付着する。

### 【0057】

本実施形態では、加熱炉32において、空孔13の界面にSiOが不安定に付着している状態の微細構造光ファイバ10を、温度900℃～1300℃の範囲であって、線引炉31と加熱炉32との間での微細構造光ファイバ10の最低の温度より高い温度で再加熱する。このように微細構造光ファイバ10を加熱炉32で再加熱しているので、不安定に付着していたSiOを空孔13の界面においてSiとOとの安定な結合状態とすることができます。

### 【0058】

ここで、加熱炉32で微細構造光ファイバ10を温度900℃～1300℃の範囲に加熱することが重要である。ファイバ軸方向に延びる空孔13を有する微細構造光ファイバ10は、ファイバ軸に直交する断面での空孔13の大きさや分布を調整することで、空孔を有さない微細構造光ファイバに比べて優れた特性、例えば絶対値の大きな波長分散や大きな非線形性が実現される。即ち、微細構造光ファイバ10の特性は空孔13の幾何学的形状に依存している。

### 【0059】

一方、通常、微細構造光ファイバ10の直径は125μm程度であるので空孔13の直径も数μm以下であり極めて小さく、空孔13は加熱によりその幾何学的形状が変形しやすくなっている。

### 【0060】

他方、空孔13に付着したSiOを安定な結合にするために、加熱炉32での加熱が必要である。そして、加熱炉32では微細構造光ファイバ10の空孔13の界面に付着したSiOを安定なSiとOとの結合状態にするために再加熱する

ので、その温度は  $SiO_2$  が軟化するいわゆる軟化点以上の温度である必要がある。

#### 【0061】

そのため、微細構造光ファイバ 10 における空孔 13 の幾何学的形状を維持しつつその界面に付着した  $SiO$  を安定な結合状態にするために、加熱炉 32 の温度設定が重要であり、上記温度 900°C ~ 1300°C が好適である。これは、  $SiO_2$  の軟化点は約 900°C 程度であるとともに、空孔 13 は 1300°C より高温で加熱されるとつぶれたり変形したりする恐れがあるからである。

#### 【0062】

以上のように、微細構造光ファイバ 10 を温度 900°C ~ 1300°C の範囲に加熱することで、空孔 13 がつぶれたり変形したりすることを抑えつつ、空孔 13 の界面に不安定に付着している  $SiO$  を  $Si$  と  $O$  との安定な結合状態にすることが可能である。

#### 【0063】

また、上述したように本実施形態では、微細構造光ファイバ 10 を加熱炉 32 で温度 900°C ~ 1300°C の範囲に 0.1 秒以上加熱するので、  $Si$  と  $O$  との結合を確実に安定な結合にすることができる。

#### 【0064】

従来、微細構造光ファイバは、光ファイバ母材を線引炉で線引きして製造されていただけであった。そのため、空孔 13 の界面には  $SiO$  が不安定に付着していた。このような状態の微細構造光ファイバでは、  $SiO$  が不安定に付着した部分で空孔の界面の原子配列が乱れている。その原子配列が乱れた部分では導波光のレイリー散乱が増大するので、微細構造光ファイバにおける伝送損失が増大していた。

#### 【0065】

これに対して本実施形態では、上述したように線引炉 31 の後段に設けられた加熱炉 32 で微細構造光ファイバ 10 を再加熱するので、空孔 13 の界面に付着した  $SiO$  が  $Si$  と  $O$  との安定な結合状態を実現することができる。そのため、加熱炉 32 を通過した微細構造光ファイバ 10 において、導波光の空孔 13 界面

におけるレイリー散乱が抑制される。従って、上述した方法で製造された微細構造光ファイバ10における導波光の伝送損失を低減することができる。

#### 【0066】

以上述べたように、本実施形態では、伝送損失の原因と考えられる空孔13の界面でのレイリー散乱を抑制することで微細構造光ファイバ10の伝送損失を低減させている。即ち、従来のように微細構造光ファイバにおけるクラッド領域を、コア領域を順次包囲する3層構造とし、その3層のうちでコア領域に対して最も外側の層に空孔を配置するなどの微細構造光ファイバの構成に依存していない。伝送損失を低減するために微細構造光ファイバ10の構成が制限されないので、微細構造光ファイバ10で実現したい特性、例えば絶対値の大きい波長分散の実現などを、伝送損失の低減とともに実現することが可能である。

#### 【0067】

上記製造方法による微細構造光ファイバ10の具体的な実施例及び比較例を示す。

#### 【0068】

実施例1～実施例4の微細構造光ファイバ10は、何れも図3に示す線引装置30を用いて次のようにして製造した。

#### 【0069】

まず、図2に示す光ファイバ母材20を母材供給装置に取り付け、その光ファイバ母材20を線引炉31内に保持した。ここで、光ファイバ母材20は、第1領域21、第2領域22とともに純石英ガラスから形成されたものとした。

#### 【0070】

続いて、線引炉31で光ファイバ母材20を温度1940℃で加熱・溶融し線引きして微細構造光ファイバ10を得た。この微細構造光ファイバ10を線引炉31と加熱炉32との間で一旦空冷した後に加熱炉32に送り、微細構造光ファイバ10を再加熱した。なお、線引炉31内にはヘリウムガスを供給し、加熱炉32内は窒素ガスを供給した。更に、貫通孔23内には酸素ガスを存在させた。

#### 【0071】

ここで、実施例1～実施例4の微細構造光ファイバ10の製造においては、加

熱炉 3 2 での微細構造光ファイバ 1 0 を夫々次のように加熱した。即ち、実施例 1 では 1 0 0 0 ℃ で 1 秒加熱し、実施例 2 では 1 1 0 0 ℃ で 0. 5 秒加熱し、実施例 3 では 1 2 0 0 ℃ で 0. 5 秒加熱し、実施例 4 では 1 3 0 0 ℃ で 0. 3 秒加熱した。

#### 【0072】

以上述べたように、実施例 1 ～ 実施例 4 の微細構造光ファイバ 1 0 は、加熱炉 3 2 での加熱条件が異なる点以外は同一の製造条件として製造した。

#### 【0073】

また、比較例の微細構造光ファイバは、光ファイバ母材 2 0 を線引炉 3 1 で線引して製造したものであって、その製造条件は、加熱炉 3 2 で加熱を実施しない点以外は実施例 1 の微細構造光ファイバ 1 0 を製造する条件と同一とした。

#### 【0074】

上記のようにして製造した実施例 1 ～ 実施例 4 の微細構造光ファイバ 1 0 及び比較例の微細構造光ファイバに対して伝送損失を調べた。図 4 にその結果を示す。図 4 において、横軸は導波光の波長、縦軸は伝送損失を示す。

#### 【0075】

図 4 から実施例 1 ～ 実施例 4 の微細構造光ファイバ 1 0 、即ち、光ファイバ母材 2 0 を線引炉 3 1 で線引きして形成した微細構造光ファイバ 1 0 を加熱炉 3 2 で再加熱をしたものの方が、比較例の微細構造光ファイバより伝送損失が小さくなっていることが理解できる。なお、図 4 中、約 1 2 4 0 nm 及び約 1 3 8 0 nm での伝送損失が大きくなっているのは、それぞれ H<sub>2</sub> と OH 基の吸収である。

#### 【0076】

実施例 1 ～ 実施例 4 の微細構造光ファイバ 1 0 を製造する方法は、線引炉 3 1 から引き出された微細構造光ファイバ 1 0 を加熱炉 3 2 で再加熱する点以外は、比較例の微細構造光ファイバを製造する方法と同じである。従って、図 4 に示す伝送損失の低減は、加熱炉 3 2 による加熱によるものであり、上述したように空孔 1 3 の界面の原子配列が安定な状態になったことによるものと理解できる。

#### 【0077】

また、図 5 に、微細構造光ファイバ 1 0 の波長 1 5 5 0 nm の導波光における

伝送損失の測定結果を示す。図5において、横軸は加熱炉32での微細構造光ファイバ10の加熱温度、縦軸は波長1550nmの導波光における伝送損失を示す。なお、室温としてプロットした測定結果は、加熱炉32での加熱を実施をせずに製造した微細構造光ファイバの測定結果である。このような表記は、加熱炉32で加熱を実施して製造した微細構造光ファイバ10の測定結果と比較するための便宜上のものである。

#### 【0078】

図5から、シリカガラスを主成分とする光ファイバにおいて最低の伝送損失を実現する波長1550nmの導波光における伝送損失も、温度900°C～1300°Cの範囲に加熱された微細構造光ファイバ10で低減されていることがわかる。

#### 【0079】

更に、図6に、微細構造光ファイバ10の波長1550nmの導波光における分散値の測定結果を示す。図6において横軸は加熱炉32における微細構造光ファイバ10の加熱温度、縦軸は波長1550nmの導波光における分散値を示す。なお、図6において加熱炉32による加熱を実施せずに製造した微細構造光ファイバの測定結果を室温としてプロットした点は図5と同様である。

#### 【0080】

図6より、加熱炉32での加熱温度が高くなるにつれて、分散値が小さくなっていることがわかる。これは、加熱炉32での加熱により微細構造光ファイバ10の空孔13が変形してきているからと理解される。また、図6より、微細構造光ファイバ10の分散値を、加熱炉32での加熱を実施していない微細構造光ファイバの分散値からずれないようにするためには、加熱炉32での温度を適切に設定する必要があることが理解できる。そして、加熱炉32で1400°Cに加熱して製造されたものに対して急激に分散値が減少していることから、加熱炉32では微細構造光ファイバ10を温度900°C～1300°Cの範囲に加熱することが好ましく、温度900°C～1100°Cの範囲に加熱することが更に好ましいことが理解できる。

#### 【0081】

以上、本発明の好適な実施形態及び実施例について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態及び実施例に限定されることは言うまでもない。例えば、上記実施形態では、ファイバ軸に直交する断面において空孔13を六方格子状に配置しているが、特にこのような分布に限定する必要はない。ファイバ軸に直交する断面での空孔13の配置は、微細構造光ファイバで実現すべき特性、例えば絶対値の大きな波長分散や、空孔を有さない光ファイバよりも大きい又は小さい実効コア断面積を実現するために必要な配置とすれば良い。

#### 【0082】

コア領域11に屈折率を上昇させる添加材（例えば、Ge）を添加しても良く、屈折率を下げる添加材を添加しても良い。更に、添加材を添加しなくても良い。また、コア領域11は中空でもかまわない。

#### 【0083】

更に、本発明の好適な実施形態では、加熱炉32を線引炉31から離して配置し一度空冷した微細構造光ファイバ10を加熱炉32で再加熱しているが、線引炉31と加熱炉32との間を離さずに線引炉31で形成された微細構造光ファイバ10を直ぐに加熱炉32に送り徐冷しても良い。この場合、SiOが空孔13の界面に安定に結合するように加熱時間を調整すれば良い。

#### 【0084】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、軸方向に延びる空孔を有する光ファイバにおいて光ファイバのコア領域及びクラッド領域の構造や空孔の軸方向に直交する断面での分布を制限することなくその伝送損失を低減することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

###### 【図1】

本実施形態における微細構造光ファイバの模式図である。

###### 【図2】

図1の微細構造光ファイバの光ファイバ母材におけるファイバ軸に直交する平面で切断した断面図である。

###### 【図3】

図2の光ファイバ母材を線引きするための線引装置である。

【図4】

実施例1～実施例4及び比較例の微細構造光ファイバの伝送損失の測定結果を示す図である。

【図5】

微細構造光ファイバの波長1550nmにおける伝送損失の測定結果を示す図である。

【図6】

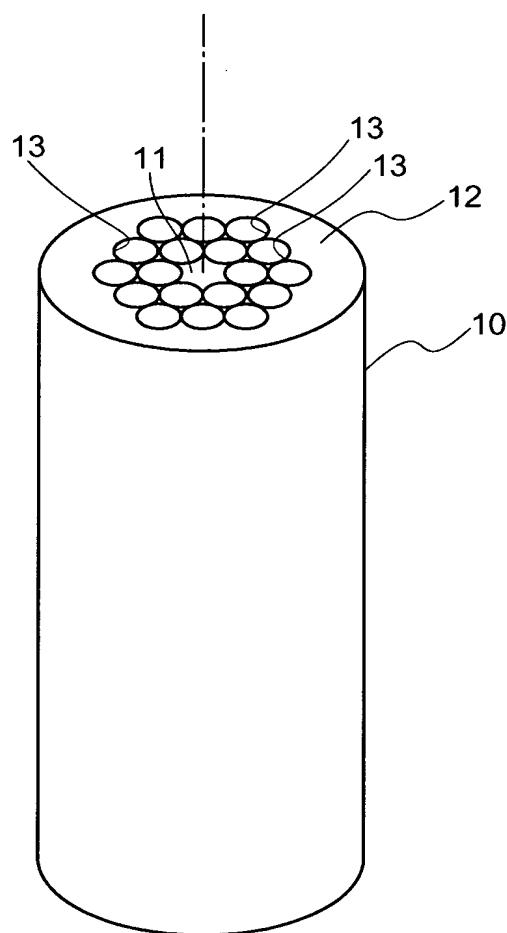
微細構造光ファイバの波長1550nmにおける分散値の測定結果を示す図である。

【符号の説明】

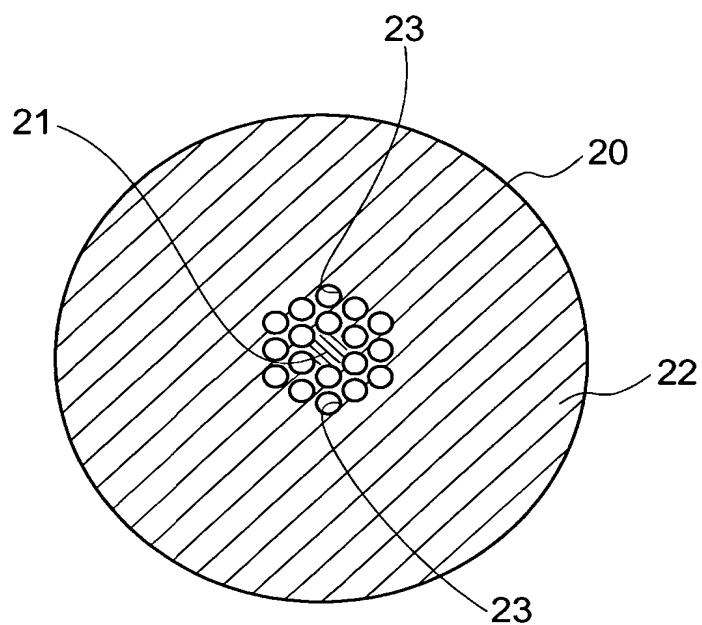
10…微細構造光ファイバ、11…コア領域、12…クラッド領域、13…空孔、20…光ファイバ、21…第1領域、22…第2領域、23…貫通孔、30…線引装置、31…線引炉、31a…炉心管、31b…ヒータ、32…加熱炉、32a…炉心管、32b…ヒータ

【書類名】 図面

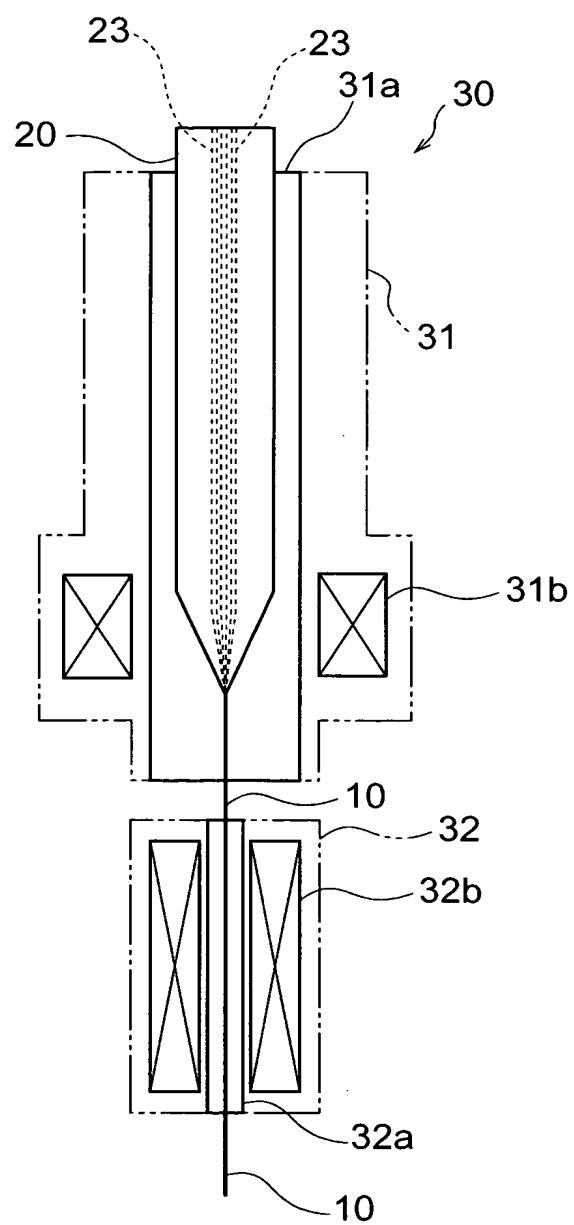
【図 1】



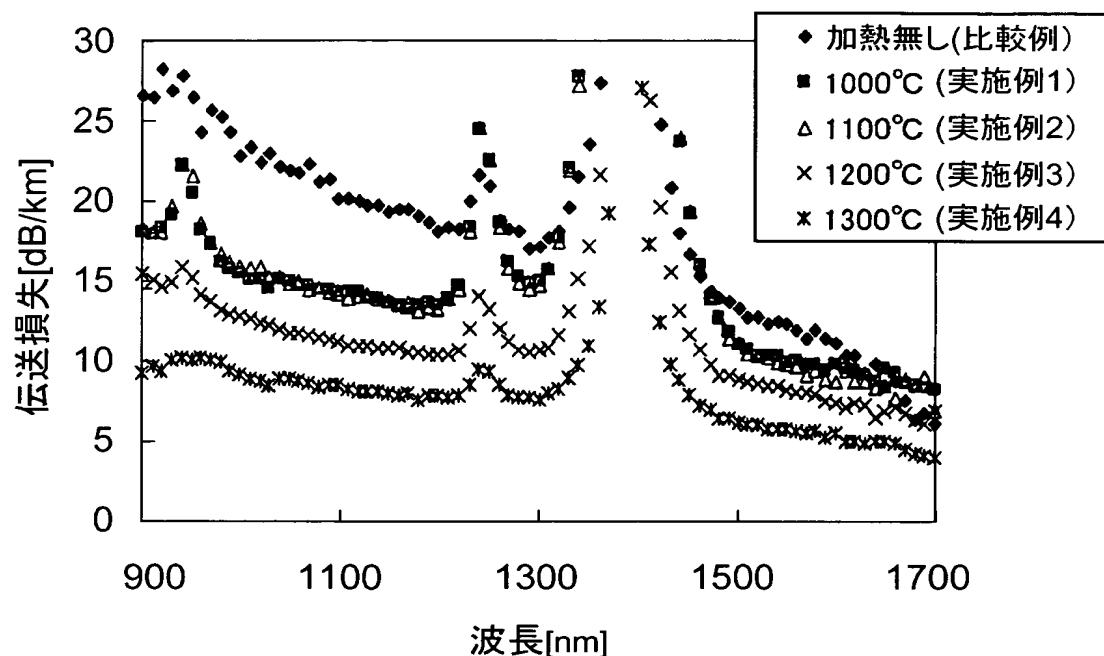
【図2】



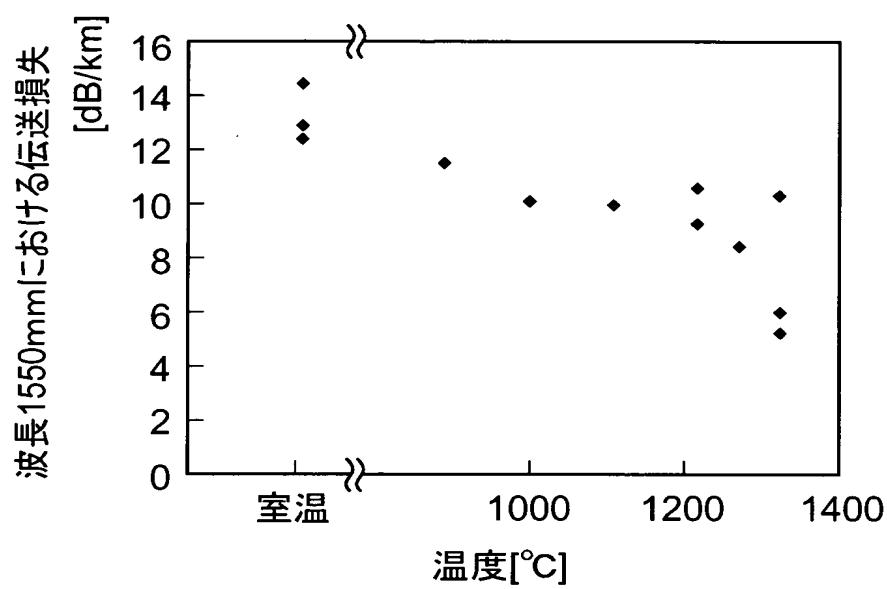
【図3】



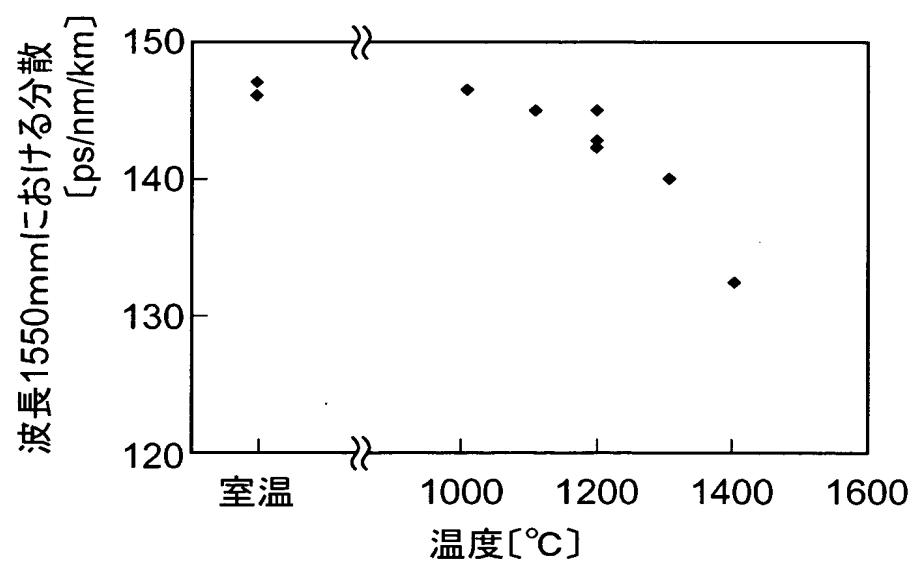
【図4】



【図5】



【図6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 軸方向に延びる空孔を有し伝送損失が低減された光ファイバを製造することができる方法を提供すること

【解決手段】 本発明の光ファイバ製造方法は、軸方向に延びる空孔13を有する光ファイバ10を製造する方法であって、空孔となるべき貫通孔23を有する光ファイバ母材20を用意する第1の工程と、光ファイバ母材を線引炉31で線引きすることにより空孔を有する光ファイバを形成する第2の工程と、線引炉の後段に設けられた加熱炉32によって、第2の工程で形成された光ファイバを温度900℃～1300℃の範囲に加熱する第3の工程とを備えることを特徴とする。

【選択図】 図3

特願 2003-034252

出願人履歴情報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
氏名 住友電気工業株式会社